



TITLE:

A Biologically Plausible Learning Rule for the Infomax on Recurrent Neural Networks.(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hayakawa, Takashi

CITATION:

Hayakawa, Takashi. A Biologically Plausible Learning Rule for the Infomax on Recurrent Neural Networks.. 京都大学, 2015, 博士(医学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18874>

RIGHT:

京都大学	博士（ 医学 ）	氏名	早 川 隆
論文題目	A Biologically Plausible Learning Rule for the Infomax on Recurrent Neural Networks (生物学的に想定しうるリカレント結合神経回路上の情報量最大化学習則)		
(論文内容の要旨)			
<p>哺乳類の脳皮質は高次脳機能において中心的な役割を果たしている。しかし、その機能が神経発火活動を通してどのように発現するかは明らかにされていない。これまで、皮質発火活動の背後にある情報処理原理を明らかにするために様々な実験研究が行われ、皮質神経細胞の特徴的な発火様式が発見されてきた。そして計算論分野では実験的に観察された発火様式を説明するための理論モデルが構築されてきた。</p> <p>例えば、皮質一次視覚野の単純型細胞と呼ばれる細胞群は特定の傾きの線分状の視覚刺激に対して選択的に反応し発火する。さらに視床外側膝状体から単純型細胞へのフィードフォワード入力の結合強度を情報量最大化・スパース符号化・独立成分分析などの学習原理に従って決めた回路モデルによって、単純型細胞の応答特性が再現できることが数値シミュレーションで示されている。</p> <p>一方、脳皮質には感覚経路からのフィードフォワード入力だけでなく皮質神経細胞間のリカレント結合を介した入力も存在する。特に皮質の自発的発火活動はこのリカレント結合によって生み出されていると考えられており、実験的にも繰り返す発火列や神経雪崩といった特徴的な発火様式の存在が報告されている。自発的発火活動を説明する理論モデルも知られており、神経回路全体で時間的に保持される情報量を最大化するようにリカレント結合の強度を決めた回路モデルによって、繰り返す発火列や神経雪崩が再現されている。従って、情報量最大化原理は皮質での感覚情報処理および時間的な情報の保持の両方についての統一的な学習原理である可能性がある。</p> <p>情報量最大化が脳皮質の学習原理であるならば、シナプス可塑性などの具体的な神経メカニズムによって実現されているはずである。しかしながら、個々の神経細胞に終止するシナプスの可塑性はそのシナプス前後の細胞の活動に基づいて局所的に決まるものである。そのため、シナプス可塑性によって神経回路全体の持つ情報量が調節され得るかどうかは明らかでなく、先行研究においても解明されていなかった。</p> <p>本研究は実験的な観察事実から想定しうる神経メカニズムによって情報量最大化が達成されるかどうかを理論的に考察した。まず神経回路で抽出・保持される情報量を最大化するための確率的勾配アルゴリズムの形でシナプス結合変化則を導出した。導かれた結合変化則は、皮質神経細胞のもつスパイク時間依存性可塑性を神経活動依存的に放出される分子(例えば一酸化窒素など)や介在ニューロンからのフィードバック入力が調節することによって実現し得るものであった。実際にリカレント結合神経回路モデルにこの可塑性を組み込んだ数値シミュレーションによって、実験的に観察されている現象、すなわち単純型細胞の方位選択性、繰り返す発火列、神経雪崩および経験的に獲得された発火列の再生を再現した。さらに、組み込んだ可塑性に従って自己組織化した後の回路モデルを詳細に解析すると、少数の強い結合と多数の弱い結合によって回路内の結合が構成されており、一見不規則・非同期的な発火活動を示すなど、その他にも実験的な観察結果と合致する所見が認められた。</p> <p>以上の結果は、情報量最大化が実際の皮質神経回路においてシナプス可塑性によって実現されている可能性を示唆する。また本研究は、情報量最大化を達成するための神経メカニズムについて実験的に検証可能な仮説を提起しており、候補となる神経伝達物質・調節物質の機能について新たな視点を与えた。本研究はこれらの点で脳皮質の情報処理原理の解明に貢献するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、大脳皮質の情報処理メカニズムを予測する理論的研究である。大脳皮質の神経発火活動が情報量最大化学習によって説明できることが先行研究で示されていたが、神経細胞・シナプスのレベルでどのような可塑性が関与しているかについては未解明であった。本論文は、情報量最大化を達成する神経可塑性を理論的に予測し、現在までに得られている実験的知見をもとにその妥当性を論じた。具体的には、神経回路モデルにおいて時間的に保持される情報量を最大化するアルゴリズムを理論的に導出し、それが皮質神経細胞のもつスパイク時間依存性可塑性を神経活動依存的に放出される分子(例えば一酸化窒素など)や介在ニューロンからのフィードバック入力が調節することによって実現され得ることを示した。またこの可塑性を組み込んだシミュレーションにおいて、一次視覚野単純型細胞の持つ方位選択性・繰り返し観察される発火列とその自発的再生・神経雪崩・少数の強い結合の存在、といった実験的に観察される神経活動パターンや結合様式の特徴を再現した。以上から、大脳皮質において本論文で提案された神経可塑性によって情報量最大化が達成されている可能性が示唆された。

以上の研究は脳皮質における神経可塑性およびその機能の解明に貢献し神経科学・医学に寄与するところが多い。

したがって、本論文は博士（ 医学 ）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、本学位授与申請者は、平成 27 年 2 月 4 日実施の論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。

